

## (12) NACH DEM VERTRIEß ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

25 JAN 2005

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
19. Februar 2004 (19.02.2004)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2004/014687 A1

(51) Internationale Patentklassifikation<sup>7</sup>: B60L 11/18, H01M 8/00

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2003/007030

(22) Internationales Anmeldedatum: 2. Juli 2003 (02.07.2003)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität: 102 33 821.3 25. Juli 2002 (25.07.2002) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): DAIMLERCHRYSLER AG [DE/DE]; Epplestrasse 225, 70567 Stuttgart (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): BUCK, Michael [DE/DE]; Schloßlesstrasse 10, 75365 Calw (DE). SCHÜTZ, Jörg [DE/DE]; Lange Strasse 85, 71640 Ludwigsburg (DE).

(74) Anwälte: KOCHER, Klaus-Peter usw.; DaimlerChrysler AG, Intellectual Property Management, IMP - C106, 70546 Stuttgart (DE).

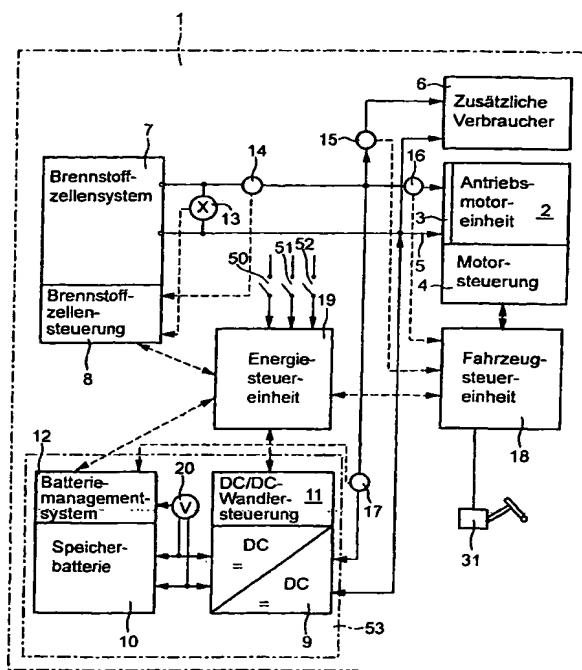
(81) Bestimmungsstaaten (national): JP, US.

(84) Bestimmungsstaaten (regional): europäisches Patent (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PT, RO, SE, SI, SK, TR).

*[Fortsetzung auf der nächsten Seite]*

(54) Title: METHOD AND ARRANGEMENT FOR CONTROLLING THE ENERGY SUPPLY OF A MOBILE DEVICE COMPRISING AT LEAST ONE ELECTRIC DRIVING MOTOR AND A HYBRID ENERGY SYSTEM CONTAINING A FUEL CELL SYSTEM AND A DYNAMIC ENERGY SYSTEM

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND ANORDNUNG ZUR STEUERUNG DER ENERGIEVERSORGUNG EINER WENIGSTENS EINEN ELEKTRISCHEN ANTRIEBSMOTOR AUFWEISENDEN, MOBilen VORRICHTUNG MIT EINEM HYBRIDEN ENERGIESYSTEM, DAS EIN BRENNSTOFFZELLENSYSTEM ENTHÄLT



7. FUEL CELL SYSTEM  
8. FUEL CELL CONTROL SYSTEM  
12. BATTERY MANAGEMENT SYSTEM  
10. STORAGE BATTERY  
19. ENERGY CONTROL UNIT

11. DC/DC TRANSDUCER CONTROL SYSTEM  
6. ADDITIONAL CONSUMER  
2. DRIVING MOTOR UNIT  
4. MOTOR CONTROL SYSTEM  
18. VEHICLE CONTROL UNIT

(57) Abstract: The invention relates to a method and an arrangement for controlling the energy supply of a vehicle comprising a hybrid energy system consisting of a fuel cell system (7) and a dynamic energy system (53) containing a storage battery (10). Said energy system can be operated according to adaptable modes of operation with optimum dynamics.

(57) Zusammenfassung: Gegenstand der Erfindung Bind ein Verfahren und eine Anordnung Zum Steuern der Energieversorgung eines Fahrzeugs, das ein hybrides Energiesystem aus einem Brennstoffzellensystem (7) und einem dynamischen Energiesystem (53) aufweist, das eine Speicherbatterie (10) enthält. Das Energiesystem kann in Abhängigkeit von einstellbaren Betriebsarten mit optimaler Dynamik betrieben werden.

BEST AVAILABLE COPY

WO 2004/014687 A1



**Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht*

*Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.*

Verfahren und Anordnung zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energiesystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem enthält

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Anordnung zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem aufweist, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuerseinheit gesteuert wird, und wobei das dynamische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist.

Es ist ein Energieversorgungssystem in einem elektrischen Fahrzeug bekannt, das eine Brennstoffzelle und eine zu dieser parallel schaltbare Speicherbatterie aufweist. Die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle sind mit einem Motor zum Antrieb des Fahrzeugs und einem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler verbunden, an den Hilfsmaschinen im Fahrzeug angeschlossen sind. Das Energieversorgungssystem enthält eine Restladungsüberwachungseinrichtung zur Messung der Restladung der Speicherbatterie. Die Restladungsüberwachungseinrichtung erfaßt die Restladung der Speicherbatterie zum Zeitpunkt des Stoppvorgangs des Energieversorgungssystems. Wenn die Restladung unter einem

vorgebbaren Grenzwert ist, lädt die Brennstoffzelle die Speicherbatterie bis zum Grenzwert auf. Dann erst wird das Energieversorgungssystem gestoppt (DE 197 31 250 A1).

Bekannt ist ein Hybrid-Antriebskonzept für Brennstoffzellen-Fahrzeuge, die als Energiequelle eine Brennstoffzelle aufweisen, die einen Elektro-Fahrmotor speist. Das jeweilige Fahrzeug enthält einen Energiespeicher und elektrische Nebenverbraucher. Es sind im Fahrzeug zwei separate, mit Schaltvorrichtungen versehene Stromkreise zur wahlweisen Verbindung des Elektrofahrmotors und der Nebenverbraucher mit der Brennstoffzelle oder dem Energiespeicher und eine schaltbare Verbindung zwischen der Brennstoffzelle und dem Energiespeicher vorhanden (DE 198 10 467 C1).

Bekannt ist auch ein Brennstoffzellensystem mit einem Brennstoftank, einem Reformer, einer Brennstoffzelle, einem an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle angeschlossenen Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler und einer mit dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler verbundenen Last, zu der eine Speicherbatterie parallel geschaltet ist. Das Brennstoffzellensystem enthält eine Steuereinheit, mit der die Restladung der Speicherbatterie erfaßt wird. Die Steuereinheit sorgt dafür, daß die Speicherbatterie in der kürzest möglichen Zeit auf einen vorgebbaren Ladezustand aufgeladen wird (EP 0334 47 474 B1).

Schließlich ist ein Energieversorgungssystem mit einer Brennstoffzelle, einem an die elektrischen Ausgänge der Brennstoffzelle angeschlossenen Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler und einer an die Ausgänge des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers angeschlossenen Last bekannt. Zu der Last ist eine Speicherbatterie parallel geschaltet. Eine Steuereinheit regelt den über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Strom derart, daß die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle innerhalb eines vorgegebenen Bereichs verbleibt (US 5714 874).

Der Erfindung liegt das Problem zugrunde, für die Energie-

versorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energiesystem aus einem Brennstoffzellensystem und einem dynamischen Energiesystem ein Verfahren und eine Anordnung anzugeben, mit denen unter Anpassung an die Parameter und/oder Betriebszustände das hybride Energiesystem bezüglich der jeweils geforderten Dynamik optimal gesteuert werden kann.

Die Aufgabe wird bei einem Verfahren der eingangs beschriebenen Art erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass Signale, die von einem Geber für die Anforderung der Solleistung des Antriebsmotors erzeugt werden, ein Signal, das von einem Betriebsartenwahlschalter mit wählbaren Einstellungen abgegeben wird, die jeweils unterschiedlichen Dynamik-Verhaltensweisen der Vorrichtung zugeordnet sind, Messwerte eines Stromsensors für den Ausgangsstrom und eines Spannungssensors für die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und Messwerte eines Sensors für die Geschwindigkeit der Vorrichtung zur Bestimmung der vom Brennstoffzellensystem und vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Leistungsanteile an der angeforderten Solleistung derart verarbeitet werden, dass bei einer Solleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Solleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird. Aufgrund der Kenntnis des Energiebedarfs der mobilen Vorrichtung, die jeweils von dem Drehmomentsollwert, dem Einstellorgan und den Meßwerten der Sensoren abhängt, und der aus den Signalen, Stellungsgebern und Meßwerten berechnet wird, kann die Energieanforderung an das Brennstoffzellensystem in geeigneter Weise, d. h. mit günstigem Wirkungsgrad und/oder günstigem Zeitverhalten angepaßt werden, während die Speicherbatterie den

Energiebeitrag für eine schnelle Dynamik der mobilen Vorrichtung liefert.

Bei einer sprungförmigen Zu- oder Abnahme der Solleistung wird die für die Zu- oder Abnahme der zusätzlichen Leistung erforderliche Zu- oder Abnahme des aus oder in die Speicherbatterie über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Stroms insbesondere auf einen maximal vorgebbaren Entlade- oder einen maximal vorgebbaren Aufladestrom begrenzt. Der maximale Entlade- bzw. Aufladestrom ergibt sich z. B. aus dem Typ der verwendeten Speicherbatterie.

Bei einer bevorzugten Ausführungsform werden von einer Fahrzeugssteuereinheit der mobilen Vorrichtung aus der Solleistung bestimmte Stromanforderungswerte für den Antriebsmotor Verbraucherstromwerten der weiteren Verbraucher in der Vorrichtung überlagert und mit einem von einem Batteriemanagementsystem bedarfsweise erzeugten Ladestromwert unter Begrenzung auf einen vorgebbaren Brennstoffzellenstrommaximalwert einer Energiesteuereinheit zugeführt, der weiterhin Vorrichtungsgeschwindigkeitswerte, Drehmomentsollwerte von einem Einstellorgan, Batterieladezustandswerte und die Einstellung des Betriebsartenwahlschalters der mobilen Vorrichtung zugeführt werden und die in Abhängigkeit von den zugeführten Werten die Werte des Gesamtstrombedarfs und des vom Brennstoffzellensystem unter Be rücksichtigung dessen Trägheitsverhaltens und des ausgewählten Dynamik-Verhaltens beizutragenden Strombedarfs berechnet und entsprechende Sollwerte an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems ausgibt, und wobei jeweils die Werte des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms bestimmt, vom Wert des vom Antriebsmotor benötigten Stroms subtrahiert werden und unter Begrenzung auf einen maximal angebbaren Entlade- oder Ladestrom der Speicherbatterie als Stromsollwerte dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zugeführt werden. Die Energiesteuereinheit erkennt an Hand der ihr zugeführten Werte die Betriebsart und den Betriebszustand der mobilen Vorrichtung und folgert daraus die Art des Strombeitrags, den das Brennstoffzellensystem für den Strom-

richter und die Hilfsantrieb leisten muß, wobei die Speicherbatterie die Strombeiträge für die schnellen Dynamikanforderungen leistet. Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht eine sehr schnelle Einstellung des vom Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler, im folgenden auch DC/DC-Wandler genannt, zur Erzielung einer guten Fahrdynamik aufzubringenden Stroms.

Bei einer weiteren günstigen Ausführungsform ist vorgesehen, daß die Summe des jeweils vom Antriebsmotor über den Stromrichter bezogenen Werts des Stroms und der von den weiteren Verbrauchern der Vorrichtung bezogenen Werte der Ströme vom Wert des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms subtrahiert wird und bei Erreichen eines maximal vorgegebenen Werts des Entladestroms auf diesen Entladestrom begrenzt wird und daß das Ergebnis der Differenz der von den weiteren Verbrauchern bezogenen Werte der Ströme vom Wert des verfügbaren Brennstoffzellenstroms aufgeschaltet wird und der Steuereinheit der Vorrichtung als verfügbarer Wert des Stroms gemeldet wird. Der verfügbare Strom ist ein dynamischer Strom als Antwort auf die Anforderung eines Stroms. Das Brennstoffzellensystem dosiert soviel Kraftstoff, dass dieser Strom gezogen wird. Die Steuereinheit ist daher in der Lage, die Stromanforderungen an die mobile Vorrichtung jeweils auf die verfügbaren Werte des Stroms abzustimmen.

Besonders vorteilhaft ist es, mit einem Speicherglied n-ter Ordnung die Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems als Regelstrecke nachzubilden, das Speicherglied und eine Steuereinheit für das dynamische Energiesystem mit dem von der Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung ausgewiesenen Drehmomentsollwert zu beaufschlagen und der Steuereinheit zusätzlich die gemäß der Übergangsfunktion der Regelstrecke erzeugten Werte zuzuführen, und durch die Steuereinheit den vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Strom über ein Begrenzungsglied mit einer Rampe, deren Steigung in Abhängigkeit von Steuersignalen aus der Vorrichtung auf wenigstens zwei Werte einstellbar ist, als Sollstromwert dem DC/DC-Wandler zuzuführen. Bei dieser Ausführungsform wird eine besonders gute Gesamtdynamik erreicht. Die Leistungsfähigkeit des dynamischen Ener-

giesystems wird dabei optimal ausgeschöpft. Beispielsweise wird beim schnellen Start der mobilen Vorrichtung, d. h. bei Startbeginn und geringer Leistung des Brennstoffzellensystems, die Leistung vom dynamischen Energiesystem aufgebracht, so daß das für die Beschleunigung der Vorrichtung notwendige große Drehmoment schnell verfügbar ist. Bei hohen Drehzahlen wird vom dynamischen Energiesystem die Leistung für die Beschleunigung zur Erreichung einer höheren Drehzahl ausgegeben. Mittels der Energiesteuereinheit wird ein gleitender Übergang der Leistungsbeiträge von Brennstoffzelle und Energiesystem erreicht.

Zur Erzielung einer hohen Beschleunigung ist es zweckmäßig, während der Dauer eines Beschleunigungsvorgangs der Vorrichtung, bei dem von der Steuereinheit durch Vorsteuerung ein Solldrehmoment und aus einem Kennfeld mit dem Drehmoment als Funktion des maximalen Stroms und der Drehzahl ein Maximalstrom für die Erzeugung des Solldrehmoments bestimmt wird, die Differenz zwischen dem vom Brennstoffzellensystem während des Beschleunigungsvorgangs erzeugten Strom und dem für die Erzielung der hohen Beschleunigung gemäß dem Kennfeld benötigten Strom durch das dynamische Energiesystem zu erzeugen. Mit dieser Ausführungsform wird bei einer mobilen Vorrichtung, insbesondere einem Elektrofahrzeug, eine besonders gute Längsdynamik erzeugt, da das dynamische Energiesystem optimal ausgenutzt wird.

Um die Energie der mobilen Vorrichtung gut auszunutzen, wird die bei der Verminderung der Last des Antriebsmotors anfallende überschüssige Energie zurückgewonnen und im dynamischen Energiesystem gespeichert.

Bei einem negativen Lastsprung, z. B. aufgrund einer entsprechenden Änderung des Stellorgans für die vom Antriebsmotor abzugebende Leistung wird der Stromrichter auf Umkehrbetrieb eingestellt. Ebenso wird der DC/DC-Wandler so eingestellt, daß er Strom in die Speicherbatterie einspeist und diese auflädt. Der Ladestrom wird durch die Ladekontrolle bestimmt, die in Abhängigkeit vom Ladezustand der Speicherbatterie die Ladeströme

über den DC/DC-Wandler steuert. Bei einer Verminderung des vom Antriebsmotor abzugebenen Solldrehmoments durch die Vorgabe eines geringeren Drehmomentsollwerts wird vorzugsweise aus dem Kennfeld der für das geringere Drehmoment erforderliche Strom bestimmt und an Hand des jeweiligen Belastungszustands des Brennstoffzellensystems bei der Vorgabe des geringeren Drehmomentsollwerts und der Speicherfähigkeit der Speicherbatterie diese nach der Umkehr des Stromflusses im Stromrichter mit dem maximal zulässigen Ladestrom über den DC/DC-Wandler geladen und das Brennstoffzellensystem auf den für das geringere Solldrehmoment erforderlichen Strom eingestellt. Mit dieser Maßnahme wird eine Überhitzungsgefahr des Brennstoffzellensystems vermieden.

Bei einer anderen bevorzugten Ausführungsform wird die Richtung der Brenngas- und Luftzufuhr zur Brennstoffzelle periodisch umgekehrt, wobei während der Umkehr der Gaszufuhr ein auf die momentane Stromausgabe des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiestroms unmittelbar vor der Umkehrung abgestimmter Stromimpuls vom dynamischen Energiesystem über den DC/DC-Wandler in den Stromrichter eingespeist wird. Auf diese Weise werden unerwünschte Schwankungen des Antriebsmoments vermieden.

Es ist weiterhin zweckmäßig, wenn die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems auf Erreichen oder Unterschreiten eines noch für den einwandfreien Betrieb zulässigen Spannungsgrenzwerts überwacht wird, wobei bei Erreichen des Spannungsgrenzwerts die Spannung durch Stromeinspeisung über den DC/DC-Wandler auf wenigstens den zulässigen Grenzwert geregelt wird. Insbesondere werden die Belastungssituation des Energieversorgungssystems beim Eingreifen der Regelung und die Häufigkeit des Eingreifens der Spannungsregelung während des Betriebs des Energieversorgungssystems registriert, wobei nach Überschreiten einer vorgebbaren Anzahl von Eingriffen die Dynamik durch Reduzierung der Anstiegsgeschwindigkeit des Stroms des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems und die Größe der abgegebenen Leistung begrenzt werden.

Günstig ist es, die Anstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems bei ausreichender Speicherbatterieladung bei Erhöhung des Drehmomentsollwerts zu begrenzen und den für die Abgabe des Drehmomentsollwerts notwendigen Strom während des Anstiegs der Ausgangsleistung durch das dynamische Energiesystem zu liefern. Dabei ist es für einen Betrieb des Energieversorgungssystems mit hohem Wirkungsgrad vorteilhaft, durch eine Rampe mit geringer Anstiegsgeschwindigkeit den durch den Drehmomentsollwert geforderten Lastzustand des Brennstoffzellensystems anzunähern.

Besonders zweckmäßig ist es, wenn mittels des Betriebsarten-Wahlschalters wenigstens drei Betriebsarten für den Antriebsmotor einstellbar sind, von denen eine auf eine große Dynamik der mobilen Vorrichtung, eine zweite auf eine geringere Dynamik bei höherem Wirkungsgrad und eine dritte auf Stop- und Go-Betrieb gerichtet ist, wobei im Stop- und Go-Betrieb bei Beschleunigungen die Ströme für den Antriebsmotor vom dynamischen Energiesystem erzeugt werden und beim Abbremsen darin gespeichert werden.

Der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Anteil des Stroms an dem für die Erzeugung einer angeforderten Antriebsleistung notwendigen Strom wird insbesondere mit dem jeweils vorhandenen Istwert des von der mobilen Vorrichtung verbrauchten Stroms und dem von Brennstoffzellensystem verfügbaren Strom bestimmt.

Bei reduzierter Leistung des Brennstoffzellensystems wird vorzugsweise ein Notlauf des Energieversorgungssystems durch Spannungsregelung im Hochvoltnetz mittels des DC/DC-Wandlers und Einspeisung von Strom aus der Speicherbatterie gewährleistet.

Bei einer Anordnung der eingangs beschriebenen Art wird das Problem erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß eine mit einem Geschwindigkeitssensor der mobilen Vorrichtung und einem Geber für ein vom Antriebsmotor zu erzeugendes Solldrehmoment verbun-

dene Fahrzeugsteuereinheit für die Einstellung des Solldrehmoments einer Motorsteuereinheit und für die Bestimmung der in einem Kennfeld zu Drehmomentwerten und Drehzahlwerten gespeicherten Stromsollwerte für die mobile Vorrichtung vorgesehen ist, daß die Fahrzeugsteuereinheit mit einer Energiesteuereinheit verbunden ist, die mit dem Brennstoffzellensystem, mit einem Batteriemanagementsystem und mit dem DC/DC-Wandler verbunden ist, daß der von der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems abgegebene Strom gemessen und als Brennstoffzellenstromwert der Energiesteuereinheit zugeführt wird, daß der Strom des Antriebsmotors vor dem Stromrichter gemessen und als Fahrstromwert der Energiesteuereinheit zugeführt wird, daß die Ströme der weiteren Verbraucher gemessen oder berechnet und der Energiesteuereinheit als Summenstromwert zugeführt werden, daß ein Betriebsartenwahlschalter für die Einstellung verschiedener Dynamik-Verhal-Verhaltensweisen des Energieversorgungssystems mit der Energiesteuereinheit verbunden ist, daß vom Batteriemanagementsystem Werte des Ladezustands der Speicherbatterie und Werte über den vorgebbaren maximalen Entladestrom und Ladestrom einer Energieflußsteuerung in der Energiesteuereinheit zugeführt werden und daß der Stromsollwert, der Brennstoffzellenstromwert, der Fahrstromwert, der Summenstromwert, die mit dem Betriebsartenwahlschalter eingestellte Betriebsart und der Ladezustand sowie der Wert des maximalen Lade- oder Entladestroms in der Energiesteuereinheit mit einem oder mehreren Programmen derart verarbeitet werden, daß bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird. Der von der Batterie beizutragende Strom wird aus

dem Fahrzeugstrom und dem verfügbaren Strom der Brennstoffzelle bestimmt, was nur eine sehr kurze Zeit beansprucht.

Die Erfindung wird im folgenden an Hand eines in einer Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben, aus dem sich weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile ergeben.

Dabei zeigen:

Fig. 1: ein Blockschaltbild einer Anordnung zur Steuerung der ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem sowie eine Energiesteuereinheit aufweisenden Energieversorgung einer mobilen Vorrichtung mit wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor,

Fig. 2: ein Block- bzw. Signalflußschaltbild der in Fig. 1 dargestellten Energiesteuereinheit,

Fig. 3: ein Blockschaltbild eines Modells eines Brennstoffzellensystems mit einem Methanol-Reformer und mit einer Steuereinheit,

Fig. 4: ein Diagramm des Brennstoffzellen- und des Energiesystemstroms bei maximaler Beschleunigung in Abhängigkeit von der Zeit,

Fig. 5: ein Diagramm des Brennstoffzellen- und des Energiesystemstroms bei einer unterhalb der maximalen Beschleunigung liegenden Beschleunigung,

Fig. 6: ein Diagramm von Strömen des Brennstoffzellensystems der Vorrichtung und des Energiesystems in Abhängigkeit von der Zeit bei verschiedenen Betriebszuständen.

Eine mobile Vorrichtung, insbesondere ein Fahrzeug 1, enthält eine Antriebsmotoreinheit 2, die einen Stromrichter 3 aufweist,

an den ein nicht näher dargestellter Motor angeschlossen ist, bei dem es sich um einen Asynchronmotor handeln kann. Als mobile Vorrichtung kann auch eine Lokomotive oder ein Gabelstapler vorgesehen sein. Der Motor wird mittels des Stromrichters 3 durch eine Motorsteuerung 4 drehzahl- bzw. drehmomentgesteuert. Der Stromrichter 3 ist auf seinen, dem Motor entgegengesetzten Anschlüssen mit einem Gleichstromnetz 5 verbunden, das als Hochvoltnetz bezeichnet wird und eine Spannung im Bereich von 250 - 450 V aufweist. Neben der Antriebsmotoreinheit 2 sind im Fahrzeug 1 weitere, mit 6 bezeichnete Stromverbraucher vorhanden. Bei diesen Verbrauchern handelt es sich z. B. um einen Kompressor, um Lüfter, um eine Wasserpumpe, um die Verbraucher einer Klimaanlage und um einen DC/DC-Wandler zwischen dem Hochvoltnetz und einem 12V, 24 oder 42V Niedervoltnetz mit weiteren Verbrauchern wie Scheinwerferlampen, Scheibenwischermotoren, Fensterscheibenantrieben, Blinkern usw. Das Gleichstromnetz 5 ist an die nicht näher bezeichneten, elektrischen Ausgänge eines Brennstoffzellensystems 7 mit einer nicht näher bezeichneten Brennstoffzelle angeschlossen. Das Brennstoffzellensystem 7 enthält an sich bekannte Elemente wie einen Tank mit flüssigem Kraftstoff z. B. Methanol, einen Reformer, einen Wassertank und einen Kompressor sowie eine Brennstoffzelle, der Brenngas aus dem Reformer und Luft aus dem Kompressor zugeführt wird. Eine Brennstoffzellensteuerung 8 betätigt die Stellglieder des Brennstoffzellensystems, um diese zur Abgabe einer entsprechenden Leistung zu veranlassen. Mit dem Gleichstromnetz 5 ist auch ein DC/DC-Wandler 9 verbunden, der für bidirektionalen Betrieb ausgebildet ist und auf seinen, dem Hochvoltnetz 5 abgewandten Anschlüssen mit einer Speicherbatterie 10 verbunden ist, die z. B. eine Spannung von 200 V erzeugt. Anstelle einer Speicherbatterie kann auch ein Superkondensator oder ein anderer Energiespeicher vorgesehen sein.

Mit dem DC/DC-Wandler 9 ist eine DC/DC-Wandlersteuerung 11 verbunden, die die Stromrichtung des DC/DC-Wandlers und die ausgebene Stromstärke einstellt und diesen auf Spannungsregelung auf der Seite des Gleichstromnetzes 5 umstellen kann. Die Spei-

cherbatterie 10 ist an ein Batteriemanagementsystem 12 ange-  
schlossen.

Für die Messung der Gleichspannung des Gleichstromnetzes 5 ist ein Spannungssensor 13 an die Ausgänge der Brennstoffzelle ange-  
schlossen. Der von der Brennstoffzelle ausgegebene Strom wird mit einem Stromsensor 14 gemessen. Dieser Strom wird im folgen-  
den als Brennstoffzellenfahrzeugstrom bezeichnet. Der von den zusätzlichen Verbrauchern bezogene Strom wird mit einem Strom-  
sensor 15 gemessen und ist im folgenden als Hilfsstrom bezeich-  
net. Der zu der Antriebssteuereinheit 2 über den Stromrichter 3 fließende oder aus dem Stromrichter 3 zurückgespeiste Strom wird mit einem Stromsensor 16 gemessen und ist im folgenden auch als Fahrstrom bezeichnet. Der vom oder zum DC/DC-Wandler auf der Gleichstromnetzseite fließende Strom wird mit einem Stromsensor 17 gemessen und ist im folgenden als DC-Wandlerstrom bezeichnet. Die Spannung der Batterie 10 wird mit einem Spannungssensor 20 gemessen, der mit dem Batteriemanagementsystem 12 verbunden ist. Die Motorsteuerung 4 ist mit einer Fahrzeugsteuereinheit 18 über Datenleitungen, die in Fig. 1 gestrichelt gezeichnet sind, ver-  
bunden. Eine Energiesteuereinheit 19 ist über in Fig. 1 gestri-  
chelt dargestellte Datenleitungen mit der Fahrzeugsteuereinheit 18, der Brennstoffzellensteuerung 8, dem Batteriemanagementsys-  
tem 12 und der DC/DC-Wandlersteuerung 11 verbunden. Der Span-  
nungssensor 13 und der Stromsensor 14 sind mit der Brennstoff-  
zellensteuerung 8 verbunden. Der Stromsensor 15 und der Strom-  
sensor 16 sind mit der Fahrzeugsteuereinheit 18 verbunden. Der Spannungssensor 20 und der Stromsensor 17 sind mit dem Batterie-  
managementsystem 12 verbunden, das alle Daten der Batterie 10 überwacht und ständig den Ladestrom der Batterie 10 ermittelt.

Der Energiesteuereinheit 19 wird von der Brennstoffzellen-  
steuerung 8 der Wert des vom Stromsensor 14 gemessenen Brenn-  
stoffzellenfahrzeugstroms, im folgenden  $I_{BRZfahrz}$  genannt, auf ei-  
ner Datenleitung 21 gemeldet. Der Wert des vom oder gegebenen-  
falls von mehreren Antriebsmotoren zum jeweiligen Zeitpunkt ver-  
brauchten Stroms, der in den Stromrichter 3 fließt und im fol-  
genden mit  $I_{Fahrzeug}$  bezeichnet ist, wird der Energiesteuereinheit

19 auf einer Datenleitung 22 zugeführt. Auf einer Datenleitung 23 wird der Energiesteuereinheit 19 der Wert des Hilfsstroms, im folgenden  $I_{Aux}$  bezeichnet, auf einer Datenleitung 23 gemeldet. Auf einer weiteren Datenleitung 24 wird der Energiesteuereinheit 19 der Wert des von der Brennstoffzelle verfügbaren Stroms, im folgenden  $I_{Verf}$  bezeichnet zugeführt. Der Wert  $I_{Verf}$  ist ein Grenzwert und gibt an, wieviel Strom von der Brennstoffzelle gezogen werden darf. Dieser Strom  $I_{Verf}$  ist ein dynamischer Wert als Antwort auf einen Stromwert  $I_{BRZAnf}$ , der von der Energieflußsteuerung 38 an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems 7 ausgegeben wird. Das Brennstoffzellensystem 7 dosiert soviel Kraftstoff, daß dieser Strom  $I_{Verf}$  gezogen werden darf und muß. Wird zuviel Strom gezogen, ist die Brennstoffzelle unvervorsorgt. Wird zuwenig Strom gezogen, wird zuviel  $H_2$  erzeugt, was dem Reformersystem schadet.  $I_{Verf}$  ist somit ein dynamischer Strom, der auch gezogen werden soll. Der Wert  $I_{BRZFahrz}$  wird vom Wert  $I_{Verf}$  subtrahiert, was in Fig. 2 durch die Summierstelle 24a dargestellt ist. Die Stromwerte  $I_{Fahrzeug}$  und  $I_{Aux}$  werden einander überlagert, was in Fig. 2 mit einer Summierstelle 25 dargestellt ist. Vom Wert  $I_{Verf}$  wird der Wert  $I_{Aux}$  subtrahiert. Dies ist in Fig. 2 mit 26 bezeichnet. Von der Summe aus  $I_{Fahrzeug}$  und  $I_{Aux}$  wird in einer mit 27 bezeichneten Summierstelle der Wert  $I_{Verf}$  subtrahiert. Wenn das Ergebnis  $I_{Fahrzeug} + I_{Aux} - I_{Verf}$  größer als ein maximal vorgebarer, gespeicherter Entladestromwert der Speicherbatterie 10 ist, wird dieser mit  $I_{Battmax1}$  bezeichnete Stromwert in einem Vergleicher 28 weiterverarbeitet. Der vom Vergleicher 28 weitergeleitete Wert wird einem weiteren Vergleicher 29 zugeführt, in dem ein Vergleich mit dem vorgebbaren, gespeicherten maximal zulässigen Entladestrom, der in Fig. 2 mit  $I_{Battmax2}$  bezeichnet ist, stattfindet. Auf diesen Wert wird der Wert am Ausgang des Vergleichers 29 begrenzt, wenn der Eingangswert größer ist. Der Ausgangswert des Vergleichers 29 wird in einer Summierstelle 30 der Differenz  $I_{Verf} - I_{Aux}$  überlagert und ergibt einen Stromwert  $I_{Fahrzeugverf}$ , der der Fahrzeugsteuereinheit 18 zugeführt wird. Der Fahrzeugsteuereinheit 18 steht daher der maximal verfügbare Stromwert zur Verfügung, so daß diese Einheit keine höhere Stromanforderung ausgibt.

Die Fahrzeugsteuereinheit 18, der durch einen Sollwertgeber 31 die vom Antriebsmotor abzugebende Leistung gemeldet wird, berechnet aus der Position des Sollwertgebers und der von einem Sensor gemessenen Drehzahl des Antriebsmotors aus einer im Probetrieb gespeicherten Tabelle des Drehmoments als Funktion des Stroms und der Drehzahl einen Sollstromwert für das Fahrzeug, im folgenden mit  $I_{AnfF}$  bezeichnet, der in einer Summierstelle 32 dem Wert  $I_{Aux}$  überlagert wird. Eine Batterieladesteuerung 33, die Teil der Energieflusssteuereinheit 19 ist, überwacht den Ladezustand der Speicherbatterie 10 mittels nicht näher dargestellter Sensoren und erzeugt in Abhängigkeit von der gemessenen Batterietemperatur und der aus dem gemessenen Drehzahlverlauf pro Zeiteinheit ermittelten Fahrweise bedarfsweise eine Ladestromanforderung, die mit  $I_{Ladeanf}$  bezeichnet ist. Der Wert  $I_{Ladeanf}$  wird in einer Summierstelle 34 der Summe aus  $I_{AnfF}$  und  $I_{Aux}$  überlagert. Das in der Summierstelle 32 berechnete Ergebnis wird einem Vergleicher 34 zugeführt, der feststellt, ob der Eingangswert größer als ein maximal vorgebarer, gespeicherter, dynamischer Brennstoffzellenstromwert, im folgenden mit  $I_{BRZDynmax}$  bezeichnet, ist.

Falls der Ausgangswert der Summierstelle größer als  $I_{BRZDynmax}$  ist, wird dieser Wert weiterverarbeitet in einer Summierstelle 35, in der ein Stromwert  $I_{Anf}$  überlagert wird. Der Wert  $I_{Anf}$  wird von einem quasistationären Regler 36 berechnet. Dem quasistationären Regler werden die Werte  $I_{Fahrzeug}$ ,  $I_{Aux}$ ,  $I_{verf}$  und  $I_{Ladeanf}$  zugeführt, aus denen der Regler  $I_{Anf}$  berechnet.

Die in der Summierstelle 35 gebildete Summe wird in einem Vergleicher 37 mit einem Stromminimalwert, im folgenden  $I_{BRZmin}$  genannt, verglichen. Dieser Stromminimalwert wird an eine variable Energieflusssteuerung 38 weitergeleitet, wenn das Ergebnis der Summierstelle 35 kleiner als dieser Wert ist.

Einer Berechnungseinheit 39 für Grenzwerte des Batteriestroms wird von einem nicht dargestellten Sensor der Temperaturwert der Batterie  $T_{Batt}$ , von der Batterieladesteuerung 33 der Ladezustand der Batterie LZ und der Wert der Spannung der Brennstoffzelle

$U_{BZ}$  zugeführt. Aus diesen Werten bestimmt die Berechnungseinheit 39 einen maximalen Batteriestromwert  $I_{MaxBatt}$ .

Eine weitere Berechnungseinheit 40 für den maximalen Brennstoffzellenstrom  $I_{maxBRZ}$  erhält von einem nicht dargestellten Temperatursensor der Brennstoffzelle  $T_{BRZ}$ , den maximalen dynamischen Brennstoffzellenstromwert  $I_{BRZdynmax}$  und einen vorab gespeicherten, z. B. durch Versuche ermittelten, maximalen statischen Wert des Brennstoffzellenstroms  $I_{BRZmaxstat}$  zugeführt.

Der Wert der Ladeanforderung  $I_{Ladeanf}$ , der Wert  $I_{Aux}$  und die Werte  $I_{maxBatt}$  und  $I_{BRZmax}$  werden einer Berechnungseinheit 41 zugeführt, die daraus den Wert des maximalen Fahrzeugstroms  $I_{maxFahr}$  bestimmt und der Fahrzeugsteuereinheit 19 zuführt.

Der Wert des Ausgangs des Vergleichers 20 wird in einer Summierstelle 42 der Differenz aus  $I_{BRZFahrz}$  und  $I_{verf}$  überlagert. Das so ermittelte Ergebnis wird dem Wert  $I_{Ladeanf}$  in einer Summierstelle 43 hinzugefügt.

Das Brennstoffzellensystem 7 hat eine Flowswitch-Kompensation, mit der der Leistungseinbruch beim Umschalten der Richtung der Gaszufuhr zur Brennstoffzelle ausgeglichen wird. Eine Flowswitch-Steuereinheit 44 erzeugt während des Umschaltzeitraums einen Stromwert  $I_{FSW}$ , der in einer Summierstelle 45 dem Ergebnis aus der Summierstelle 43 hinzugefügt wird.

Um zu verhindern, daß die Spannung im Hochvoltnetz 5 auf einen Wert absinkt, der für den Betrieb der Brennstoffzelle gefährlich ist, ist eine Spannungsregeleinheit 46 vorgesehen, mit der die Spannung des Hochvoltnetzes auf Erreichen oder Unterschreiten eines unteren Grenzwerts überwacht wird. Sobald dieser Grenzwert erreicht oder unterschritten wird, gibt die Spannungsregeleinheit 46 einen Wert  $I_{REG}$  aus, der in einer Summierstelle 47 dem Ergebnis des Ausgangs der Summierstelle 45 überlagert wird. Der Wert am Ausgang der Summierstelle 47 wird einem Vergleicher 48 zugeführt, der diesen Wert auf den maximal eingestellten Ladestrom begrenzt, wenn der Eingangsstrom größer ist.

Der Ausgangswert des Vergleichers 48 wird einem weiteren Vergleicher 49 zugeführt, der den Wert auf den maximal eingestellten Entladstrom  $I_{Battmax}$  begrenzt, wenn der Eingangswert höher ist. Der Ausgangswert des Vergleichers 48 wird als Stromsollwert  $I_{DC/DC}$  der DC/DC-Wandlersteuerung 11 zugeführt.

Die variable Energieflußsteuerung 38, ein wesentlicher Bestandteil der Energiesteuereinheit 19, erhält Meßwerte der Fahrzeuggeschwindigkeit  $V_F$ , des Sollwertgebers 31 über das vom Antriebsmotor verlangte Solldrehmoment  $M_{soll}$ , den Wert  $I_{AnfF}$  von der Fahrzeugsteuereinheit 18 und den Batterieladezustand von der Batterieladesteuerung 33. Weiterhin ist im Fahrzeug 1 ein Betriebsartenwahlschalter, bestehend aus einer Reihe von Schaltern 50, 51, 52, vorhanden, mit denen von Hand eine bestimmte Betriebsart des Dynamik-Verhaltens des Fahrzeugs 1 eingestellt werden kann. Die Schaltstellungen der Schalter 50, 51, 52 werden der variablen Energieflußsteuerung 38 zugeführt. Zusätzlich wird der variablen Energieflußsteuerung 38 von der Fahrzeugsteuereinheit 18 ein Signal über einen Eingang ABS zugeführt, das sich auf eine Antiblockierbremsung bezieht und dies der variablen Energieflußsteuerung 38 meldet. Die Energieflusssteuerung 38 verarbeitet diese Werte und gibt einen Wert  $I_{BRZAnf}$  an die Stellglieder des Brennstoffzellensystems 7 aus.

Die Speicherbatterie 10 mit dem Batteriemanagementsystem 12 und der DC/DC-Wandler 9 mit der DC/DC-Wandlersteuerung 11 bilden ein dynamisches Energiesystem 53. In der variablen Energieflußsteuerung 38 ist ein Modell 54 des Brennstoffzellensystems 7 mit dem Methanol-Reformer und den dazugehörigen, an sich bekannten Bauelementen gespeichert. Das Modell 54 weist ein rückwirkungsfreies Speicherglied  $n$ -ter Ordnung  $PTn_1$ , auf. Der Eingang 56 des Modells 54 wird von der Fahrzeugsteuereinheit 18 jeweils mit dem Drehmomentsollwert beaufschlagt. Die Zeitkonstante des Speicherglieds  $PTn_1$  wird von einem Eingang 55 des Modells 54 eingestellt. Das Speicherglied  $PTn_1$  wird auch als Verzögerungs-

glied bezeichnet. Der Eingang 56 und der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_1$  sind mit Eingängen einer Steuereinheit 57 verbunden, die das Verhalten des dynamischen Energiesystems 53 beeinflußt.

Die Steuereinheit 57 ist ausgangsseitig mit einem Speicherglied  $n$ -ter Ordnung  $PTn_2$  verbunden, das einen weiteren mit einem Umschalter 58 verbundenen Eingang aufweist, der von der Fahrzeugsteuereinheit 18 eingestellt wird. Die Einstellung hängt davon ab, ob sich das Fahrzeug 1 in der Antiblockierbremssystem-betriebsweise befindet oder nicht. Über den Umschalter 58 werden im Speicherglied  $PTn_2$  zwei verschiedene Zeitkonstanten über die Eingänge 100 bzw. 101 eingestellt, von denen die eine auf die Dynamik im Normalbetrieb des dynamischen Energiesystems 53 und die andere auf den Antiblockierbremsbetrieb eingestellt ist. Der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_1$  zeigt die „langsame“ Reaktion des Brennstoffzellensystems an. Der Ausgang des Speicherglieds  $PTn_2$  zeigt die „schnelle“ Reaktion des dynamischen Energiesystems 53 an.

Die Ausgangswerte der Speicherglieder  $PTn_1$  und  $PTn_2$  werden in einer Summierstelle 59 einander überlagert, die die Summe der „schnellen“ und „langsam“ Reaktionen anzeigt. Die Ausgangswerte der Speicherglieder  $PTn_1$  und  $PTn_2$  und der Summierstelle werden von der variablen Energieflußsteuerung 38 verarbeitet, wobei verschiedene Dynamik-Betriebsarten des Fahrzeugs 1 berücksichtigt werden. Das Speicherglied  $PTn_2$  begrenzt die Energielieferung des dynamischen Energiesystems in seiner Dynamik und wird auch als Begrenzung bezeichnet.

In einer ersten Betriebsart, die als „Beschleunigungs-Verstärkung“ oder „Beschleunigungs-Boost“ bezeichnet werden kann, wird das dynamische Energiesystem 53 zur Verbesserung der Längsdynamik des Fahrzeugs eingesetzt. Das dynamische Energiesystem 53 wird dabei von der Energiesteuereinheit 19 für die Dauer eines Beschleunigungsvorgangs, also zeitlich begrenzt, zur Abgabe von Leistung veranlaßt, die additiv zu der vom Brennstoffzellsystem 7 erzeugten Leistung wirkt. Hierbei steuert die Fahrzeugsteuereinheit 18 den Drehmomentsollwert in Abhängigkeit vom

verfügbaren Strom aus dem Kennfeld  $M_{Soll} = F(I_{max}, n)$  vor.  $I_{max}$  ist hierbei der Summenstrom des Brennstoffzellensystems 7 und des dynamischen Energiesystems 53.

In Fig. 4 ist der Strom in Ordinatenrichtung als Funktion der Zeit  $t$  in Abszissenrichtung dargestellt. Zum Zeitpunkt  $t_1$  erfolge ein Sollwertsprung auf den Sollwert  $I_{AnfF}$ , der in Fig. 4 mit 60 bezeichnet ist. In der Betriebsweise „Beschleunigungs-Boost“ fordert die variable Energieflusssteuerung 38 den maximalen Strom des Brennstoffzellensystems 7  $I_{BRZMax}$  und den maximalen Strom des dynamischen Energiesystems 53  $I_{BattMax}$  an. Der Brennstoffzellenstrom  $I_{BZ}$ , der in Fig. 4 mit 61 bezeichnet ist, steigt nach einer Übergangsfunktion bis auf  $I_{BRZmax}$  an, den die variable Energieflusssteuerung 38 an Händ des Modells 54 erfaßt und das dynamische Energiesystem 53 über die Einstellung des DC/DC-Wandlers 9 zur Abgabe des mit 62 in Fig. 4 bezeichneten Stroms  $I_{Batt}$  veranlaßt, der mit der durch das Speicherglied  $PTn_2$  bestimmten Rampe ansteigt und auf dem Strom  $I_{BattMax}$  während der Dauer der „Beschleunigungs-Verstärkung“ verharrt.

Die Fig. 5 zeigt den Stromverlauf als Funktion der Zeit bei einem Sollwertsprung 53, der kleiner als die Summe  $I_{BRZMax} + I_{Battmax}$  ist. Die variable Energieflußsteuerung 38 veranlaßt die Brennstoffzelle  $I_{BRZ}$  zur Abgabe des Stroms  $I_{BRZMax}$ . Der Verlauf des Stroms  $I_{BRZ}$  ist in Fig. 5 mit 64 bezeichnet. Der Anstieg erfolgt mit der Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems. Das dynamische Energiesystem 53 erzeugt den Strom  $I_{Batt}$ , dessen Verlauf in Fig. 5 mit 65 bezeichnet ist und der zum Strom  $I_{BRZ}$  addiert wird, wodurch der Sollwert 63 schneller erreicht wird. Sobald der Sollwert 63 erreicht ist, speist die Brennstoffzelle den Strom  $I_{BRZMax}$  ein, während der Strom  $I_{Batt}$  auf einen kleineren Wert zurückgeht, auf dem er während der Dauer der Beschleunigungs-Verstärkung verharrt.

In Fig. 6 ist der Verlauf von Strömen  $I$  des Energieversorgungssystems des Fahrzeugs 1 und der Antriebseinheit in Ab-

hängigkeit von der Zeit  $t$  in verschiedenen Betriebsweisen, wie „Dynamische Verstärkung“, „Quasistatischer Betrieb“ und „Bremsbetrieb“ dargestellt. Es sei angenommen, daß die Fahrzeugsteuereinheit 18 zum Zeitpunkt  $t_1$  einen Strom  $I_{AnfF}$  für den Antriebsmotor anfordert. Der Sollstrom  $I_{AnfF}$  ist in Fig. 1 mit 66 bezeichnet. Die variable Energieflosssteuerung 38 beaufschlägt die Stellglieder des Brennstoffzellensystems 7 mit einem Brennstoffzellenanforderungsstrom  $I_{BRZAnf}$ , der den Brennstoffzellenstrom  $I_{verf}$  nach dem in Fig. 6 mit 67 bezeichneten Verlauf bis zu einem Wert  $I_{BRZDynmax}$  zum Zeitpunkt  $t_2$  ansteigen läßt. Ab dem Zeitpunkt  $t_2$  steuert die variable Energiefußsteuerung 38 den Brennstoffzellenstrom  $I_{verf}$  so, daß er linear mit einstellbarer Steigung bis auf den auf den maximalen statischen Wert  $I_{BRZMaxstat}$  ansteigt. Dieser Wert ist zum Zeitpunkt  $t_3$  erreicht.

Vom Zeitpunkt  $t_1$  bis  $t_2$  arbeiten das Brennstoffzellensystem 7 und das dynamische Energiesystem 53 in der Betriebsart: „Dynamische Verstärkung“. Dabei wird das dynamische Energiesystem 53 zur Abgabe eines hohen Batteriestroms  $I_{Batt}$  veranlaßt, der dem Strom des Brennstoffzellensystems  $I_{verf}$  hinzugefügt wird. Der Strom  $I_{Batt}$ , dessen Verlauf in Fig. 6 mit 68 bezeichnet ist und der gemäß der Einstellung des Speicherglieds  $P_{tn_2}$  mit einer auf die Anstiegsgeschwindigkeit des Brennstoffzellenstroms abgestimmten hohen Anstiegsgeschwindigkeit erzeugt wird, ergänzt den Strom  $I_{verf}$  zu einem Strom  $I_{Fahrzeug}$ , dessen Verlauf in Fig. 6 mit 69 dargestellt ist. Durch den dynamischen Betrieb mit Batterieunterstützung wird die Dynamik des Fahrzeugs 1 verbessert.

Vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  arbeiten das Brennstoffzellensystem 7 und das dynamische Energiesystem 53 im quasistatischen Betrieb. In dieser Betriebsart wird das Brennstoffzellensystem 7 undynamisch mit Unterstützung des dynamischen Energiesystems 53 betrieben, wodurch sich Kraftstoff einsparen läßt. Der Brennstoffzellenstrom  $I_{verf}$  steigt linear an, was in Fig. 6 mit 70 bezeichnet ist. Der Batteriestrom  $I_{Batt}$  nimmt linear bis zum Zeitpunkt  $t_3$  ab. Dieser Verlauf ist in Fig. 6 mit 71 bezeichnet.

Zum Zeitpunkt  $t_3$  ist der statische Betriebspunkt des Brennstoffzellensystems 7 erreicht, d. h. der Brennstoffzellenstrom  $I_{verf}$  ist auf seinem für den jeweiligen Lastfall maximalen Wert angekommen. Bei gleichbleibender Anforderung bleibt der Brennstoffzellenstrom konstant.

Es sei angenommen, daß zum Zeitpunkt  $t_4$  der Sollstrom durch eine entsprechende Änderung der Drehmomentanforderung auf null reduziert wird. Das dynamische Energiesystem wird auf Rekuperation umgestellt, d. h. der Stromrichter 3 speist freiwerdende Energie in das Hochvoltnetz zurück. Über den auf Umkehrbetrieb eingestellten DC/DC-Wandler 9 wird die Speicherbatterie 10 geladen. Der Strom  $I_{Batt}$  wird, begrenzt auf  $I_{Battmax}$ , in die Speicherbatterie 10 eingespeist. Der Verlauf  $I_{Batt}$  ist in Fig. 6 mit 72 bezeichnet. Der Strom  $I_{Fahrzeug}$  fällt im sog. Bremsbetrieb des Antriebsmotors gemäß dem in Fig. 6 mit 73 bezeichneten Verlauf ab. Der Strom  $I_{verf}$  wird durch die variable Energieflusssteuerung 38 entsprechend dem in Fig. 4 mit 74 bezeichneten Verlauf reduziert, wobei auf einen sehr steilen Abfall ein unwesentliche linearer Abfall bis zum Zeitpunkt  $t_5$  stattfindet, in dem z. B. noch der Strom  $I_{Aux}$  erzeugt wird. Nach dem Abklingen des Stroms  $I_{Fahrzeug}$  auf null nimmt die Speicherbatterie 10 den noch vom Brennstoffzellensystem 7 abgegebenen Strom, soweit er die Ströme der weiteren Verbraucher übersteigt, auf. Auf die vorstehend angegebene Art ist es möglich, bei einem Lastsprung von einem hohen Lastpunkt zu einem niedrigen Lastpunkt das Drehmoment des Antriebsmotors in kurzer Zeit abzubauen. Die überschüssige Energie wird gespeichert. Das zeitliche Verhalten der Drehmomentreduktion als Antwort auf die Sollwertgeberänderung hängt ab von: der Fahrzeuggeschwindigkeit (bei hohen Geschwindigkeiten erfolgt die Reduzierung langsamer als bei niedrigen) und vom Antriebsstrom (bei hohen Strömen langsamer).

Durch die erfindungsgemäße adaptive Flowswitch-Kompensation werden der Fahrkomfort und die Regelungstechnische Stabilität beim Betrieb, insbesondere mit hoher Belastung, z. B. Vollast, verbessert. Bei Brennstoffzellen kann es erforderlich sein, die Richtung der Gase über die Zellen periodisch umzukehren. Zum Um-

schaltzeitpunkt entsteht kurzzeitig eine elektrische Leistungsverminderung, was bei konstanter Belastung einen Spannungseinbruch zur Folge hat. In einem Fahrzeug mit einer Brennstoffzelle stellt der elektrische Fahrantrieb die Hauptlast dar. Die elektronische Steuerung des Elektro-Antriebs muß bei einem Spannungseinbruch die Stromaufnahme sehr dynamisch erhöhen, um ein konstantes Drehmoment zu halten. Insbesondere bei hohen Lastpunkten wirkt sich der Leistungseinbruch der Brennstoffzelle negativ auf das Gesamtsystem aus:

Das Antriebsmoment kann nicht immer konstant gehalten werden, dies ergibt Einbusen beim Fahrkomfort.

Der Elektro-Antrieb muß seine Stromanforderung sehr dynamisch erhöhen. Dies wirkt sich störend auf den Regelungsprozeß der Stromerzeugung aus.

Die Erfindung ermöglicht es, kurzzeitig Leistungseinbrüche des Stromerzeugungssystems zu kompensieren. Dadurch können Drehmomentschwankungen an elektrischen Antrieben (Fahrantrieb aber auch Hilfsantriebe) vermieden werden und somit der Fahrkomfort erhöht werden. Der Regelungsprozeß des Stromerzeugungssystems wird hierdurch verbessert, da die Stromanforderung durch die Last (Fahrantrieb) nicht erhöht werden muß und somit keine Störgröße auf den Regelungsprozeß einwirkt.

Erfindungsgemäß wird die adaptive Flowswitch-Kompensation durchgeführt, um einen Leistungseinbruch der Brennstoffzelle auszugleichen und damit einen Spannungseinbruch zu verhindern. Es wird ein gesteuerter Energieeintrag aus der Speicherbatterie 10 abhängig vom Laststrom der Brennstoffzelle und einer Flowswitch-Information von der Brennstoffzelle erzeugt. Durch die Beobachtung der resultierenden Spannung auf der Hochvoltseite bei der Flowswitch-Kompensation wird eine Kennlinie angepaßt, nach der sich die Höhe des Stroms bemäßt.

Das Brennstoffzellensystem signalisiert via Logiksignal einen bevorstehenden Flowswitch. Zum Zeitpunkt des Flowswitch wird abhängig vom momentanen Brennstoffzellenstrom der DC/DC-Wandler in der Weise gesteuert, daß ein kurzer Stromimpuls zusätzlich ein-

getragen wird. Die Form ist in einer Steuertabelle abgelegt und auf 1 normiert. Die Höhe des Impulses ist abhängig vom aktuellen Brennstoffzellenstrom und vom adaptiven Lernfaktor. Der adaptive Lernfaktor wird durch Beobachten des Spannungsverlaufs bei Auftreten eines Flowswitch ständig ermittelt und korrigiert systembedingte Streuungen und Schwankungen. Überschreiten die Abweichungen bestimmte Grenzen wird dies als Diagnoseinformation abgespeichert.

Ein weiteres wesentliches Merkmal der Erfindung ist die Unterspannungserkennung und im Zusammenhang damit ein additiver Energieeintrag als Funktion des Brennstoffzellentstroms durch entsprechende Regelung des DC/DC-Wandlers 10. Bei einem Stromerzeugungssystem mit einer Brennstoffzelle ist der Verlauf der Spannung in Abhängigkeit vom Laststrom von sehr vielen Faktoren abhängig. Die Abhängigkeiten sind zur Zeit nicht alle mathematisch beschreibbar bzw. vorhersagbar. Mit dem erfindungsgemäßen Unterspannungsregler als Bestandteil des Energiemanagements kann die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit des Systems erhöht werden. Zusätzlich ist es möglich, während des Betriebs auf sich negativ verändernde Systemeigenschaften aktiv zu reagieren. So können die Verfügbarkeit des Systems erhöht und Informationen für Service und Wartung während des Betriebs ermittelt werden. Die Hauptfunktion des erfindungsgemäßen Unterspannungsreglers besteht darin, bei Erreichen eines unteren Grenzwerts der Spannung Energie aus der Batterie 10 zusätzlich einzuspeisen. Dabei wird die Strombilanz nicht berücksichtigt. Der Reglerausgang gibt eine additive Stromanforderung an den DC/DC-Wandler 9 aus und ist abhängig von der Regelabweichung ( $\Delta U$ ) und dem aktuellen Laststrom.

Ein weiterer Bestandteil der Erfindung ist eine Erkennung, wie häufig und bei welchen Situationen, z. B. in Abhängigkeit von der Lastgröße, Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte (Umweltbedingungen) der Regler eingreifen muß. Aus diesen Informationen werden Daten für Service und Wartung abgespeichert. Bei der Überschreitung eines bestimmten Häufigkeitswertes, d. h. der Regler ist pro Zeiteinheit  $> N$  mal aktiv, werden aktive Eingriffe in

Dynamik und maximale Leistungsbereitstellung vorgenommen mit dem Ziel, die Verfügbarkeit des Systems zu gewährleisten. Die Einschränkung der verfügbaren Leistung wird dem Fahrer in geeigneter Weise angezeigt.

Die Steuerung des Batteriestromanteils erfolgt in der Art und Weise, daß unabhängig von Parameterveränderungen des Gesamtsystems die Strombilanzierung immer korrekt ist. Als Istgrösse ist der DC-Stromwert des Antriebssystems von besonderer Bedeutung. Der erforderliche Stromanteil der Batterie 10 wird aus einer Bilanzierung der Istströme  $I_{Fahrzeug}$  und des verfügbaren Stroms von Brennstoffzellensystem  $I_{verf}$  berechnet. Damit nimmt das Regelungskonzept eine ständige Verletzung der Strombilanz bewußt in Kauf.

Obwohl die Istgröße ein zeitliches Delay hat, hat sich dieses Verfahren als wesentlich geeigneter erwiesen, als die Sollwerte für den Batteriestromanteil vorauszuberechnen. Obwohl zur Funktion des beschriebenen Verfahrens zuerst eine Reaktionsgröße (Antriebstrom) vorliegen muß, arbeitet das Verfahren sehr effektiv, da die Reaktionszeit der Stellgröße (Batteriestromanteil gesteuert über DC/DC-Wandler 9) deutlich unter der Speicherzeitkonstante des Brennstoffzellensystems liegt (Kapazitive Energie des Brennstoffzellensystems). Die Strombilanz des Brennstoffzellensystems 7 wird hierdurch in optimaler Weise sichergestellt. Die Vorteile beruhen in einer exakten Energiebilanz, was insbesondere für Reformersysteme sehr wichtig ist. Grundsätzlich erhöht eine exakte Energiebilanz im Brennstoffzellensystem den Wirkungsgrad und die Lebensdauer des Reformers.

Unter Kenntnis, welche Energiemengen mit welcher Dynamik benötigt werden, kann das dynamische Energiesystem 53 gezielt gesteuert werden, bzw. die Stromanforderung an das Brennstoffzellensystem 7 in geeigneter Weise angepaßt werden.

Bei einer ABS-Bremsung kann es vorkommen, daß die angetriebenen Räder „im Schlupf laufen“. Es existieren regelungstechni-

nische Verfahren, die in diesem Fall einen Korrektur/Erhöhungsmoment berechnen und an den Antrieb senden. Darauf beschleunigt dieser die Räder meist kurz, um den Schlupf abzubauen. Als Folge können die Räder wieder z. B. Seitenführung aufbauen. In diesem Fall ist nur eine geringe Energiemenge und eine vom einem entsprechend ausgelegten dynamischen Energiesystem abgebbare Leistung zeitlich begrenzt (meist nur bei der Bremseinleitung) erforderlich. Die Dynamik der breitgestellten Leistung muß allerdings sehr hoch sein.

Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, daß die Fahrzeugsteuereinheit 18 und die Energiesteuereinheit 19 Informationen verarbeiten bzw. zusätzlich Informationen selbst ermitteln:

1. Im oben beschriebenen Fall leitet die Fahrzeugsteuereinheit z. B. ein Bit „ABS-aktiv“ an die Energiesteuereinheit 19. Diese leitet aufgrund dieser Information die zeitgleich übermittelte „ansteigende“ Sollstromanforderung nicht an das Brennstoffzellensystem 7 weiter, sondern „weiß“, daß es sich um eine kurze dynamische, zeitlich begrenzte Anforderung der Fahrzeugsteuereinheit 18 handelt und deckt diesen Bedarf am besten mittels der Batterie 10 ab. Durch diese Methode wird das undynamische Brennstoffzellensystem 7 bei Belastungen dieser Art nicht unnötig in seiner Leistung hoch bzw. nach unten gefahren.

2. Die Fahrzeugsteuereinheit 18 schaltet die Zeitkonstante des Begrenzers des  $PTn_2$ -Glieds auf den kleinstmöglichen Wert, den das dynamische Energiesystem 53 darstellen/folgen kann. Die Folgen sind:

- Wirkungsgradverbesserung des Brennstoffzellensystems 7, Senkung des Verbrauchs.
- Lebensdauererlängerung des Brennstoffzellensystems.
- Dynamikverbesserung im Vergleich zu fester „zum Brennstoffzellensystem passenden“ Zeitkonstante des Speicherglieds  $PTn_2$ .
- Abgasverbesserung.

Weitere Anwendungsfälle bzw. Informationen, die in geeigneter Art und Weise verarbeitet werden, sind:

Economy/Sport-Mode - „Informationsbit“: Economy Mode: leistungsschwächere und dynamischere Nutzung des dynamischen Energiesystems. Sport-Mode: umgekehrt. (Schalter in der Mittelkonsole) Stop- and Go-Betrieb: Steuerung ermittelt mittels Drehmoment-, Strom-, Drehzahl-, Fahrgeschwindigkeitsdaten und deren Differenzquotienten, ob es sich um einen Stop- and Go- Betrieb (Fahren im Stau) handelt. Die Energiesteuereinheit 19 stellt dann eine „mittlere“ und dynamische Sollstromanforderung und das Brennstoffzellensystem 7 ein. Die „leistungsschwachen“ Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge werden durch dynamische Anforderungen des dynamischen Energiesystems 53 abgedeckt. Die Folgen sind:

- Wirkungsgradverbesserung, Senkung des Verbrauchs,
- Abgasverbesserung.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einem elektrischen Antriebsmotor aufweisenden, mobilen Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem aufweist, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuereinheit gesteuert wird, und wobei das dynamische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist, dadurch gekennzeichnet, dass Signale, die von einem Geber für die Anforderung der Sollleistung des Antriebsmotors erzeugt werden, ein Signal, das von einem Betriebsartenwahlschalter mit mehreren wählbaren Einstellungen abgegeben wird, die jeweils unterschiedlichen Dynamik-Verhaltensweisen der Vorrichtung zugeordnet sind, Messwerte eines Stromsensors für den Ausgangsstrom und eines Spannungssensors für die Ausgangsspannung der Brennstoffzelle und Messwerte eines Sensors für die Geschwindigkeit der Vorrichtung zur Bestimmung der vom Brennstoffzellensystem und vom dynamischen Energiesystem aufzubringenden Leistungsanteile an der angeforderten Sollleistung derart verarbeitet werden, dass bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vor-

richtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise unter unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,  
dadurch gekennzeichnet, dass bei einer sprungförmigen Zu- oder Abnahme der Sollleistung die für die Zu- oder Abnahme der zusätzlichen Leistung erforderliche Zu- oder Abnahme des aus oder in die Speicherbatterie über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler fließenden Stroms auf einen maximal vorgebbaren Lade- oder einen maximal vorgebbaren Entladestrom begrenzt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,  
dadurch gekennzeichnet, dass von einer Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung Stromanforderungswerte für den Antriebsmotor Verbraucherstromwerten der weiteren Verbraucher in der Vorrichtung überlagert und mit einem von einem Batteriemanagementsystem bedarfsweise erzeugten Ladestromwert unter Begrenzung auf einen Brennstoffzellenmaximalstromwert einer Energiesteuerungseinheit zugeführt werden, der weiterhin Vorrichtungsgeschwindigkeitswerte, Drehmomentsollwerte von einem Sollwertgeber, Batterieladezustandswerte und Werte eines Betriebsartenwahlschalters für die Einstellung verschiedener Dynamik Verhaltensweisen der mobilen Vorrichtung zugeführt werden und die in Abhängigkeit von den zugeführten Werten die Werte des Gesamtstrombedarfs und des vom Brennstoffzellensystem unter Berücksichtigung dessen Trägheitsverhaltens und des ausgewählten Dynamik-Verhaltens beizutragenden Strombedarfs berechnet und entsprechende Sollwerte an die Stellglieder des Brennzellensystems ausgibt, und daß je-

weils die Werte des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms bestimmt, vom Wert des vom Antriebsmotor benötigten Stroms subtrahiert werden und unter Begrenzung auf einen maximal angebbaren Entlade- oder Ladestrom der Speicherbatterie als Stromsollwerte dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zugeführt werden.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß die Summe des jeweils vom Antriebsmotor über den Stromrichter bezogenen Werts des Stroms und der von den weiteren Verbrauchern der Vorrichtung bezogenen Werte der Ströme vom Wert des von der Brennstoffzelle ausgegebenen Stroms subtrahiert wird und bei Erreichen eines maximal vorgebbaren Werts des Entladstroms der Speicherbatterie auf diesen Entladestrom begrenzt wird und dass das Ergebnis der Differenz der von den weiteren Verbrauchern bezogenen Ströme vom Wert des verfügbaren Brennstoffzellenstroms aufgeschaltet wird und der Steuereinheit der Vorrichtung als verfügbarer Wert des Stroms gemeldet wird.
5. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass mit einem Speicherglied n-ter Ordnung die Übergangsfunktion des Brennstoffzellensystems als Regelstrecke nachgebildet wird, dass das Speicherglied und eine Steuereinheit für das dynamische Energiesystem mit den von der Fahrzeugsteuereinheit der mobilen Vorrichtung ausgegebenen Drehmoment-sollwerten beaufschlagt werden, daß der Steuereinheit zusätzlich die gemäß der Übergangsfunktion der Regelstrecke erzeugten Werte zugeführt werden und daß durch die Steuereinheit der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Strom über ein Begrenzungsglied, das in Abhängigkeit von Steuersignalen aus der Vorrichtung auf wenigstens zwei Rampen mit unterschiedlicher Steigung einstellbar ist, als Stromsollwert dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler zuführbar ist.

6. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s während der Dauer eines Beschleunigungsvorgangs der Vorrichtung bei dem von der Fahrzeugsteuereinheit durch Vorsteuerung ein Solldrehmoment und aus einem Kennfeld mit dem Drehmoment als Funktion des maximalen Stroms und der Drehzahl ein Maximalstrom für die Erzeugung des Solldrehmoments bestimmt wird, die Differenz zwischen dem vom Brennstoffzellensystem während des Beschleunigungsvorgangs erzeugten Strom und dem für die Erzielung der hohen Beschleunigung gemäß dem Kennfeld benötigten Gesamtstrom durch das dynamische Energiesystem erzeugt wird.

7. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s bei einer Verminderung des vom Antriebsmotor abzugebenden Solldrehmoments aus dem Kennfeld der für das geringere Drehmoment erforderliche Strom bestimmt wird und daß an Hand des jeweiligen Belastungszustands des Brennstoffzellensystems bei der Vorgabe des Drehmomentsollwerts und der vorhandenen Speicherfähigkeit der Speicherbatterie diese nach Umkehr des Stromflusses im Stromrichter im Bremsbetrieb des Antriebsmotors mit dem maximal vorgebbaren Ladestrom über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler geladen und das Brennstoffzellensystem auf den für das geringere Soll-drehmoment erforderlichen Strom eingestellt wird.

8. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s die Richtung der Brenngas- und Luftzufuhr zur Brennstoffzelle periodisch umgekehrt wird, und daß während der Umkehr der Gaszufuhr ein auf die momentane Stromausgabe des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems unmittelbar vor der Umschaltung abgestimmter Stromimpuls

vom dynamischen Energiesystem über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler in den Stromrichter eingespeist wird.

9. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß die Ausgangsspannung des Brennstoffzellensystems auf Erreichen oder Unterschreiten eines für den einwandfreien Betrieb zulässigen Spannungsgrenzwerts überwacht wird und daß bei Erreichen oder Unterschreiten des Spannungsgrenzwerts die Spannung in dem am Ausgang der Brennstoffzelle geschlossenen Netz durch Stromeinspeisung über den Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler auf wenigstens dem zulässigen Grenzwert geregelt wird.

10. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, daß die Belastungssituation des Energieversorgungssystems beim Eingreifen der Regelung und die Häufigkeit des Eingreifens der Spannungsregelung während des Betriebs des Energieversorgungssystems registriert werden und daß nach Überschreiten einer vorgebbaren Anzahl von Eingriffen die Dynamik durch Reduzierung der Anstiegsgeschwindigkeit des Stroms des Brennstoffzellensystems und/oder des dynamischen Energiesystems und die Größe der abgegebenen Leistung reduziert werden.

11. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Anstiegs geschwindigkeit der Ausgangsleistung des Brennstoffzellensystems bei ausreichender Speicherbatterieladung bei Erhöhung des Drehmomentsollwerts begrenzt wird und daß der für die Erzeugung des Drehmomentsollwerts notwendige Strom während des Anstiegs durch das dynamische Energiesystem erzeugt wird.

12. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass mittels des Betriebsartenwahlschalters wenigstens drei Betriebsarten für den Antriebsmotor einstellbar sind, von denen eine auf eine große Dynamik der Vorrichtung, eine zweite auf eine geringere Dynamik der Vorrichtung und eine vierte auf Stop- und Go-Betrieb gerichtet sind und daß im Stop- und Go-Betrieb bei Beschleunigungen Ströme vom dynamischen Energiesystem erzeugt und beim Abbremsen darin gespeichert werden.
13. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass der vom dynamischen Energiesystem aufzubringende Anteil des Stroms an dem für die Erzeugung einer angeforderten Antriebsleistung notwendigen Strom mit dem jeweils vorhanden Istwert des von der Vorrichtung verbrauchten Stroms und dem vom Brennstoffzellensystem verfügbaren Strom bestimmt wird.
14. Verfahren nach zumindest einem der vorhergehenden Ansprüche,  
dadurch gekennzeichnet, dass ein Notlauf des Energieversorgungssystems durch Spannungsregelung im Netz am Eingang des Stromrichters mittels des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers und Einspeisung des Stroms aus der Speicherbatterie gewährleistet wird.
15. Anordnung zur Steuerung der Energieversorgung einer wenigstens einen elektrischen Antriebsmotor aufweisenden Vorrichtung mit einem hybriden Energieversorgungssystem, das ein Brennstoffzellensystem und ein dynamisches Energiesystem enthält, wobei die elektrischen Ausgänge des Brennstoffzellensystems mit einer Seite eines Stromrichters verbunden sind, dessen andere Seite den Antriebsmotor speist, der von einer Motorsteuereinheit gesteuert wird, und wobei das dy-

namische Energiesystem eine Speicherbatterie aufweist, die mit einer Seite eines Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers verbunden ist, dessen andere Seite mit den elektrischen Ausgängen des Brennstoffzellensystems und der einen Seite des Stromrichters verbunden ist,

d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s eine mit einem Geschwindigkeitssensor der mobilen Vorrichtung (1) und einem Geber (31) für ein vom Antriebsmotor zu erzeugendes Solldrehmoment verbundene Fahrzeugsteuereinheit (18) für die Einstellung des Solldrehmoments einer Motorsteuereinheit (4) und für die Bestimmung der in einem Kennfeld zu Drehmomentsollwerten und Drehzahlwerten gespeicherten Stromsollwerte für die mobile Vorrichtung (1) vorgesehen ist, daß die Fahrzeugsteuereinheit (18) mit einer Energiesteuereinheit (19) verbunden ist, die mit dem Brennstoffzellensystem (7), einem Batteriemanagementsystem (12) für die Speicherbatterie (10) und mit dem Gleichstrom-Gleichstrom-Wandler (9) verbunden ist, daß der von der Brennstoffzelle des Brennstoffzellensystems (7) abgegebene Strom gemessen und als Brennstoffzellenstromwert der Energiesteuereinheit (19) zugeführt wird, daß der Strom des Antriebsmotors vor dem Stromrichter (3) gemessen und als Fahrstromwert der Energiesteuereinheit (19) zugeführt wird, daß die Ströme der weiteren Verbraucher gemessen oder berechnet und der Energiesteuereinheit (19) als Summenstromwert zugeführt werden, daß ein Betriebsartenwahlschalter (50, 51, 52) für die Einstellung verschiedener Betriebsarten des Energieversorgungssystems mit der Energiesteuereinheit (19) verbunden ist, daß vom Batteriemanagementsystem (12) Werte über den Ladezustand der Speicherbatterie (10) und Werte über den maximal vorgebbaren Lade- und Entladestrom einer Energieflusssteuerung (38) zugeführt werden, und daß der Stromsollwert, der Brennstoffzellenstromwert, der Fahrstromwert, der Summenstromwert, die eingestellte Betriebsart, der Ladezustandswert und die maximal vorgegebenen Werte des Lade- und Entladestroms in der Energiesteuereinheit (19) und in der dazugehörigen Energieflusssteuerung (38) mit einem oder mehreren Programmen derart verar-

beitet werden, dass bei einer Sollleistungsänderung an Hand der bereits abgegebenen Leistung des Antriebsmotors und der bereits erzeugten Leistung des Brennstoffzellensystems sowie der Geschwindigkeit der Vorrichtung unter Berücksichtigung der ausgewählten Dynamik-Verhaltensweise und der unterschiedlichen Übergangsfunktionen des Brennstoffzellensystems und des dynamischen Energiesystems die Differenz zwischen der vom Brennstoffzellensystem gemäß der Übergangsfunktion verzögert erzeugbaren Teilleistung und der Sollleistung von der Speicherbatterie des dynamischen Energiesystems durch Beaufschlagung des Gleichstrom-Gleichstrom-Wandlers mit entsprechenden Sollwerten erzeugt wird.

16. Anordnung nach Anspruch 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die mobile Vorrichtung ein Kraftfahrzeug zum Personen- und/  
oder Gütertransport ist.
17. Anordnung nach Anspruch 15,  
d a d u r c h g e k e n n z e i c h n e t, d a s s  
die Vorrichtung (1) ein Gabelstapler ist.

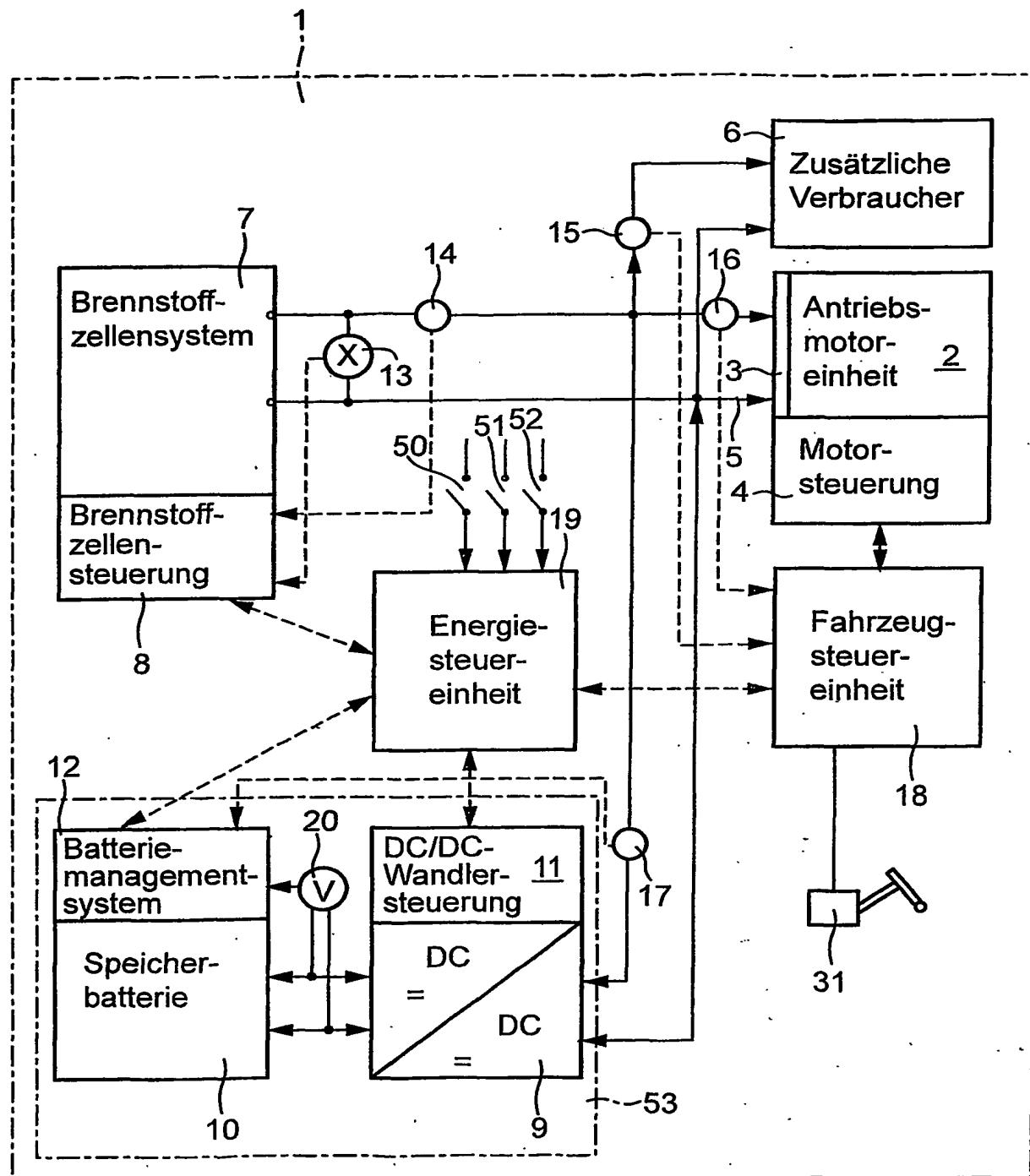


Fig. 1

2/5

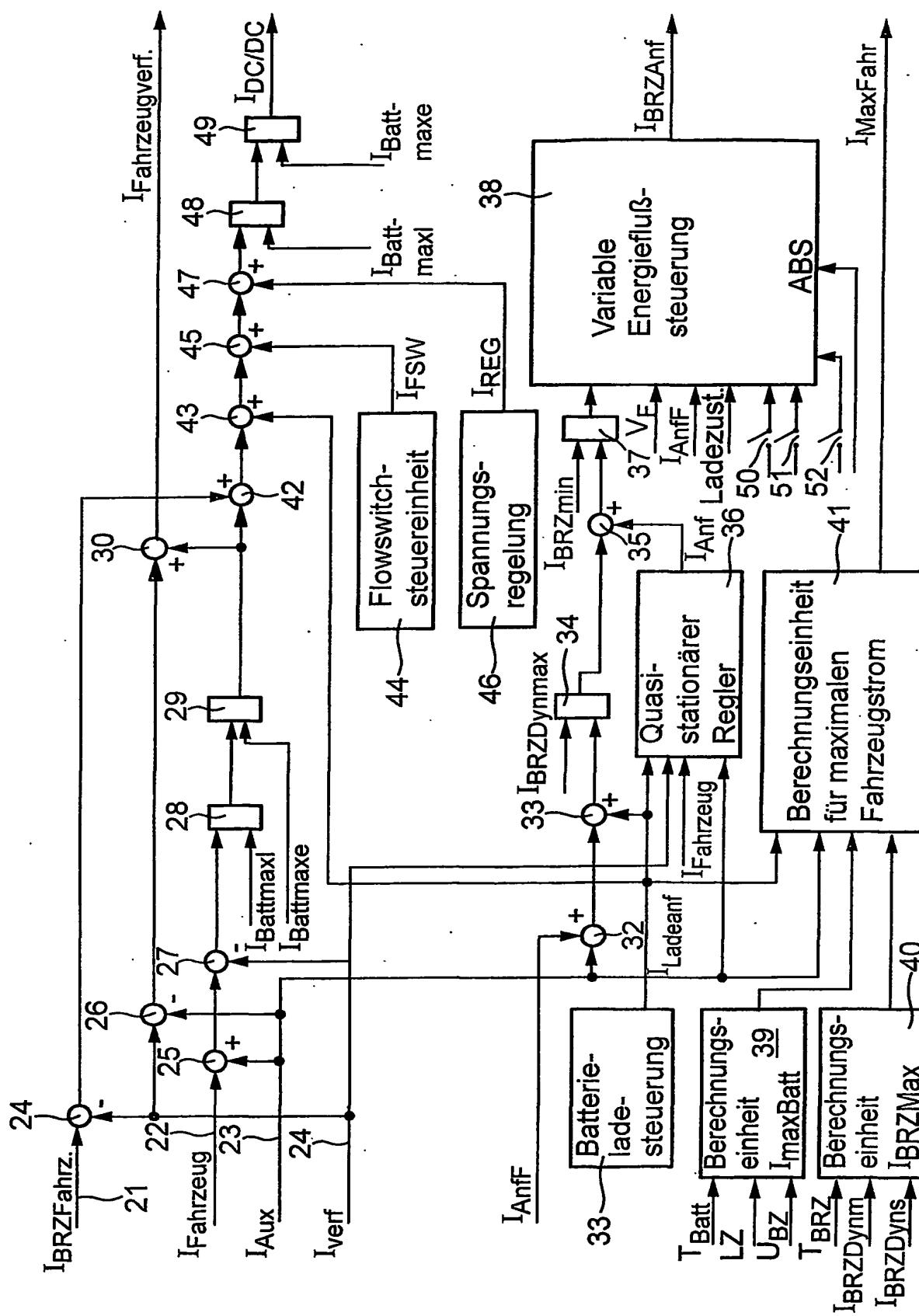


Fig. 2

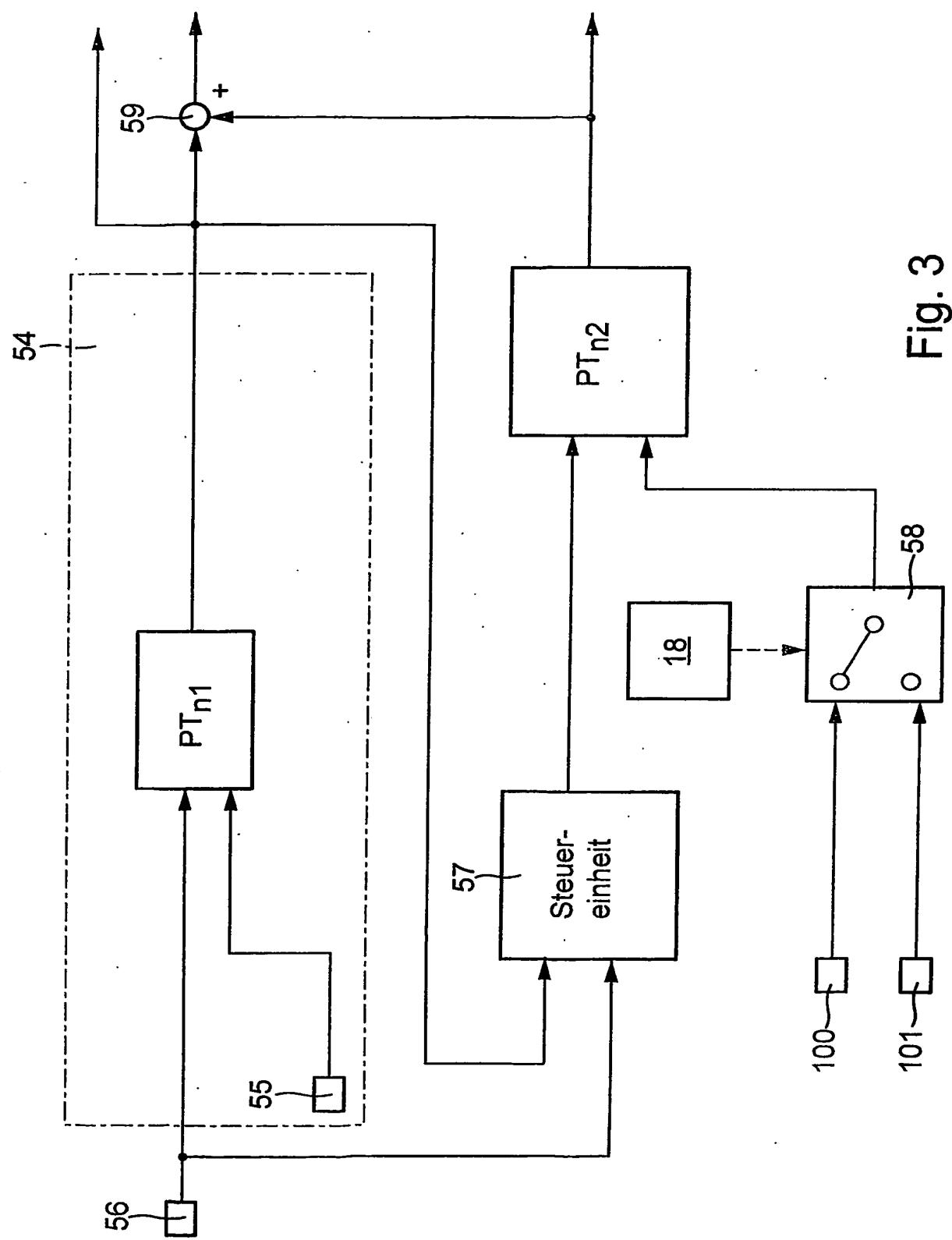


Fig. 3

4/5

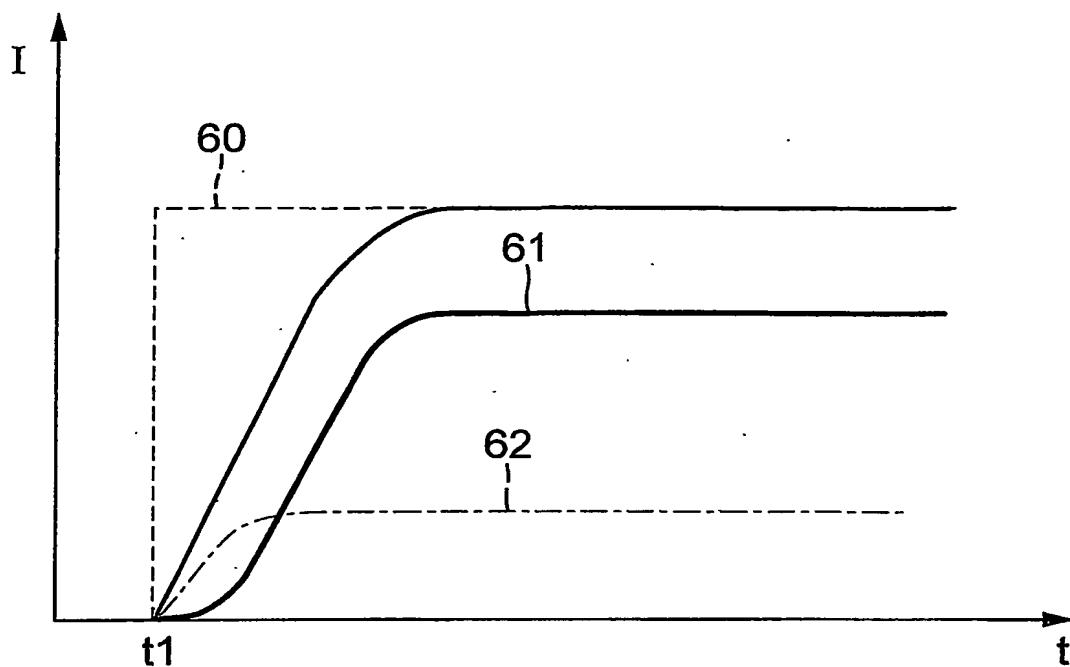


Fig. 4

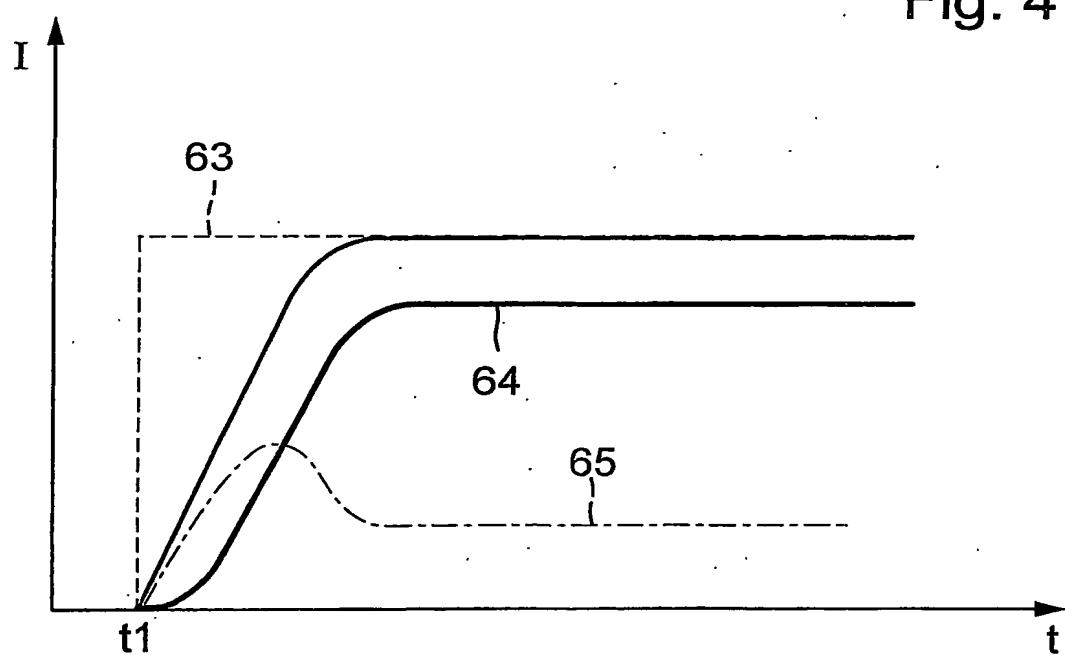


Fig. 5

5/5

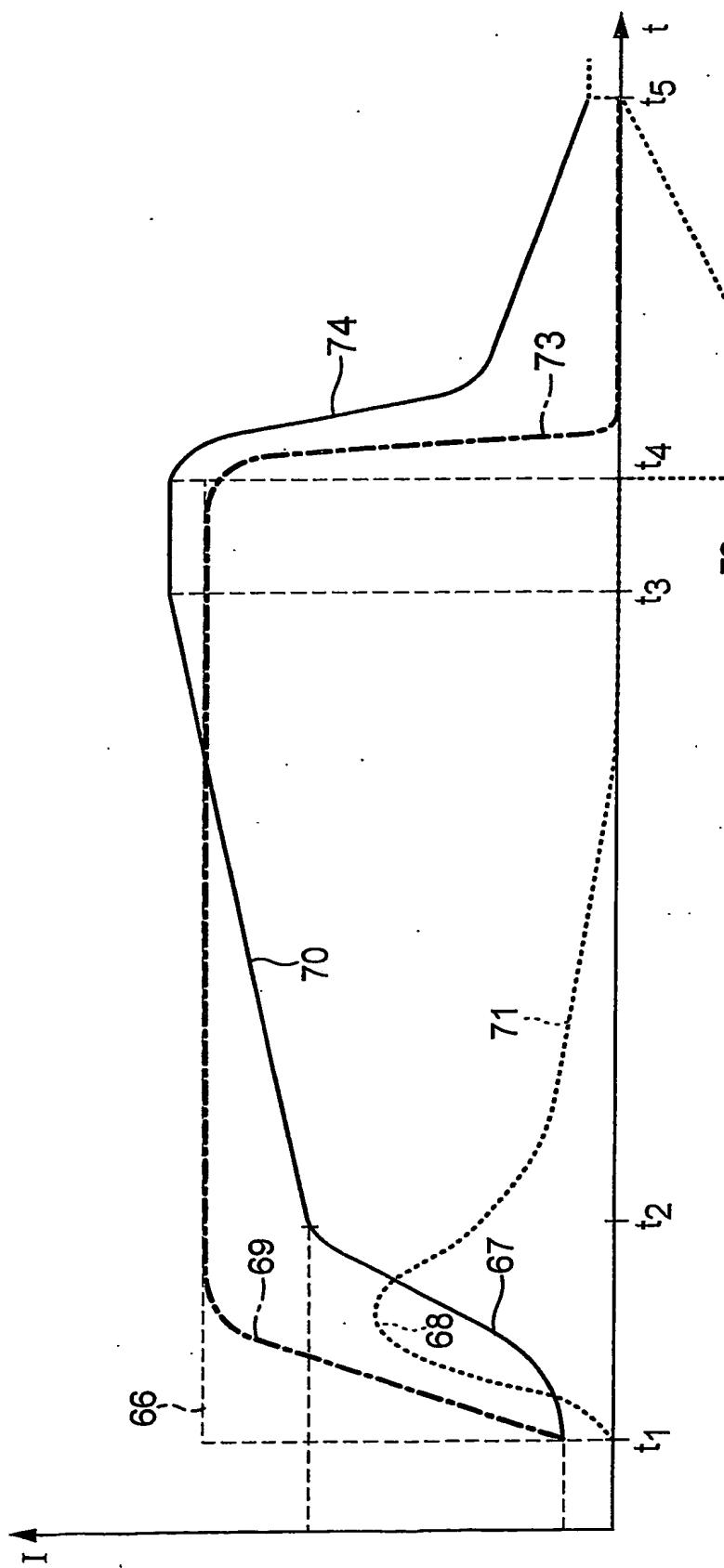


Fig. 6

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No  
PCT/EP 03/07030

**A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER**  
IPC 7 B60L11/18 H01M8/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

**B. FIELDS SEARCHED**

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
IPC 7 B60L H01M

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the International search (name of data base and, where practical, search terms used)

WPI Data, EPO-Internal

**C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT**

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 02 29916 A (TOYOTA MOTOR CO LTD ;MANABE KOUTA (JP); SUGIURA HIROSHI (JP); WATA) 11 April 2002 (2002-04-11) page 5, line 23 -page 11, line 1; figures 1-3 ---	1,2,6,7, 9,11, 13-16
Y	US 4 839 246 A (TAKABAYASHI YASUHIRO) 13 June 1989 (1989-06-13) column 4, line 31 -column 6, line 24; figures 3,4 ---	1,13,15, 16
A	column 4, line 31 -column 6, line 24; figures 3,4 ---	5
Y	WO 01 34424 A (ABERLE MARKUS ;SONNTAG JOSEF (DE); XCELLSIS GMBH (DE)) 17 May 2001 (2001-05-17) page 10, paragraph 3 -page 14, paragraph 6; figure 1 page 16, paragraph 4 -page 20, paragraph 2 ---	2,9,14
	-/-	

Further documents are listed in the continuation of box C

Patent family members are listed in annex.

\* Special categories of cited documents :

- \*A\* document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- \*E\* earlier document but published on or after the International filing date
- \*L\* document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- \*O\* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- \*P\* document published prior to the International filing date but later than the priority date claimed

- \*T\* later document published after the International filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- \*X\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- \*Y\* document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- \*&\* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the International search report
21 October 2003	29/10/2003
Name and mailing address of the ISA	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax (+31-70) 340-3016	Hascher, T

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/EP 03/07030

## C (Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 02 36385 A (NISSAN MOTOR ; IWASAKI YASUKAZU (JP)) 10 May 2002 (2002-05-10) page 4, line 15 -page 7, line 18; figures 1,2,4,7 page 10, line 22 -page 11, line 21	1,11,15
Y	US 5 334 463 A (SHINDO KOJI ET AL) 2 August 1994 (1994-08-02) column 5, line 15 -column 7, line 14; figures 1,3,5,6 column 7, line 64 -column 8, line 1	6,7,13
Y	US 2002/095247 A1 (BURBA JOSEPH CARL ET AL) 18 July 2002 (2002-07-18) column 2, paragraph 30 -column 4, paragraph 52; figures 1,3,5-7	11
A	EP 1 160 120 A (NISSAN MOTOR) 5 December 2001 (2001-12-05) abstract; figures 1,3	

**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International Application No

PCT/EP 03/07030

Patent document cited in search report		Publication date		Patent family member(s)		Publication date
WO 0229916	A	11-04-2002	JP	2002118979 A		19-04-2002
			AU	9215201 A		15-04-2002
			CA	2424657 A1		11-04-2002
			EP	1340276 A2		03-09-2003
			WO	0229916 A2		11-04-2002
US 4839246	A	13-06-1989	JP	63289773 A		28-11-1988
WO 0134424	A	17-05-2001	DE	19954306 A1		26-07-2001
			WO	0134424 A1		17-05-2001
			EP	1227949 A1		07-08-2002
			JP	2003518357 T		03-06-2003
WO 0236385	A	10-05-2002	JP	2002141073 A		17-05-2002
			CN	1388781 T		01-01-2003
			EP	1250243 A1		23-10-2002
			WO	0236385 A1		10-05-2002
			US	2002162694 A1		07-11-2002
US 5334463	A	02-08-1994	JP	2989353 B2		13-12-1999
			JP	5151983 A		18-06-1993
US 2002095247	A1	18-07-2002	CA	2367707 A1		16-07-2002
			DE	10200120 A1		01-08-2002
			GB	2373382 A		18-09-2002
			JP	2002320303 A		31-10-2002
EP 1160120	A	05-12-2001	JP	2001339810 A		07-12-2001
			EP	1160120 A2		05-12-2001
			US	2001051290 A1		13-12-2001

# INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/07030

A. KLASIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES  
IPK 7 B60L11/18 H01M8/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

## B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierte Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)  
IPK 7 B60L H01M

Recherchierte aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

WPI Data, EPO-Internal

## C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Beitr. Anspruch Nr.
Y	WO 02 29916 A (TOYOTA MOTOR CO LTD ;MANABE KOUTA (JP); SUGIURA HIROSHI (JP); WATA) 11. April 2002 (2002-04-11) Seite 5, Zeile 23 -Seite 11, Zeile 1; Abbildungen 1-3 ---	1,2,6,7, 9,11, 13-16
Y	US 4 839 246 A (TAKABAYASHI YASUHIRO) 13. Juni 1989 (1989-06-13) Spalte 4, Zeile 31 -Spalte 6, Zeile 24; Abbildungen 3,4 ---	1,13,15, 16
A	WO 01 34424 A (ABERLE MARKUS ;SONNTAG JOSEF (DE); XCELLSIS GMBH (DE)) 17. Mai 2001 (2001-05-17) Seite 10, Absatz 3 -Seite 14, Absatz 6; Abbildung 1 Seite 16, Absatz 4 -Seite 20, Absatz 2 ---	5
Y	WO 01 34424 A (ABERLE MARKUS ;SONNTAG JOSEF (DE); XCELLSIS GMBH (DE)) 17. Mai 2001 (2001-05-17) Seite 10, Absatz 3 -Seite 14, Absatz 6; Abbildung 1 Seite 16, Absatz 4 -Seite 20, Absatz 2 ---	2,9,14
		-/-

Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen

Siehe Anhang Patentfamilie

- \* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- \*' A' Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- \*' E' älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist
- \*' L' Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- \*' O' Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Aussistung oder andere Maßnahmen bezieht
- \*' P' Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

- \*' T' Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- \*' X' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- \*' Y' Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- \*' &' Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

21. Oktober 2003

Absendedatum des Internationalen Recherchenberichts

29/10/2003

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde  
Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Hascher, T

## INTERNATIONALES SUCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/07030

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	WO 02 36385 A (NISSAN MOTOR ; IWASAKI YASUKAZU (JP)) 10. Mai 2002 (2002-05-10) Seite 4, Zeile 15 -Seite 7, Zeile 18; Abbildungen 1,2,4,7 Seite 10, Zeile 22 -Seite 11, Zeile 21 ---	1,11,15
Y	US 5 334 463 A (SHINDO KOJI ET AL) 2. August 1994 (1994-08-02) Spalte 5, Zeile 15 -Spalte 7, Zeile 14; Abbildungen 1,3,5,6 Spalte 7, Zeile 64 -Spalte 8, Zeile 1 ---	6,7,13
Y	US 2002/095247 A1 (BURBA JOSEPH CARL ET AL) 18. Juli 2002 (2002-07-18) Spalte 2, Absatz 30 -Spalte 4, Absatz 52; Abbildungen 1,3,5-7 ---	11
A	EP 1 160 120 A (NISSAN MOTOR) 5. Dezember 2001 (2001-12-05) Zusammenfassung; Abbildungen 1,3 ---	

## INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP 03/07030

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument		Datum der Veröffentlichung		Mitglied(er) der Patentfamilie		Datum der Veröffentlichung
WO 0229916	A	11-04-2002	JP	2002118979 A		19-04-2002
			AU	9215201 A		15-04-2002
			CA	2424657 A1		11-04-2002
			EP	1340276 A2		03-09-2003
			WO	0229916 A2		11-04-2002
US 4839246	A	13-06-1989	JP	63289773 A		28-11-1988
WO 0134424	A	17-05-2001	DE	19954306 A1		26-07-2001
			WO	0134424 A1		17-05-2001
			EP	1227949 A1		07-08-2002
			JP	2003518357 T		03-06-2003
WO 0236385	A	10-05-2002	JP	2002141073 A		17-05-2002
			CN	1388781 T		01-01-2003
			EP	1250243 A1		23-10-2002
			WO	0236385 A1		10-05-2002
			US	2002162694 A1		07-11-2002
US 5334463	A	02-08-1994	JP	2989353 B2		13-12-1999
			JP	5151983 A		18-06-1993
US 2002095247	A1	18-07-2002	CA	2367707 A1		16-07-2002
			DE	10200120 A1		01-08-2002
			GB	2373382 A		18-09-2002
			JP	2002320303 A		31-10-2002
EP 1160120	A	05-12-2001	JP	2001339810 A		07-12-2001
			EP	1160120 A2		05-12-2001
			US	2001051290 A1		13-12-2001

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**